



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 196 26 837 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁸:
F 01 N 3/02

⑳ Aktenzeichen: 196 26 837.0
㉔ Anmeldetag: 4. 7. 96
㉕ Offenlegungstag: 9. 1. 97

DE 196 26 837 A 1

③0 Innere Priorität: ③2 ③3 ③1

08.07.95 DE 195249992

⑦1 Anmelder:

Volkswagen AG, 38440 Wolfsburg, DE

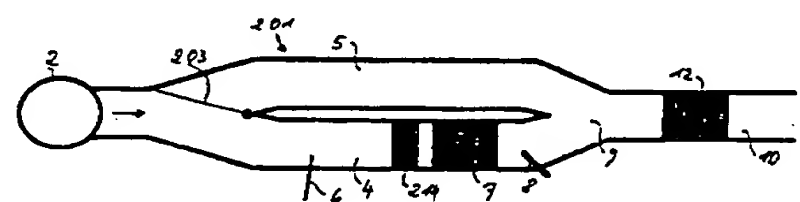
⑦2 Erfinder:

Pott, Ekkehard, Dipl.-Ing., 38518 Gifhorn, DE

⑤4 Dieselbrennkraftmaschine mit NO_x-Speicher

⑤7 Für Otto-Motoren sind NO_x-Speicherkatalysatoren bekannt, die bei $\lambda > 1$ die im Abgas vorhandenen Stickoxide einlagern und bei einem kurzzeitigen Betrieb des Ottomotors bei einem $\lambda \leq 1$ diese wieder abgeben. Der Einsatz solcher NO_x-Speicherkatalysatoren bei Dieselbrennkraftmaschinen scheitert zum einen an dem viel höheren Massenstrom beim Dieselmotor und zum anderen an dem hohen Luftüberschuß, der aus Verbrauchs- und Temperaturgründen keine Anfertigung des Abgasstroms auf $\lambda \leq 1$ zuläßt.

Bei der erfindungsgemäßen Abgasanlage sind zwei von einer Klappe (203) alternativ freigebbare Abgasstränge (4, 5) vorgesehen, wobei in zumindest einem (4) ein NO_x-Speicherkatalysator (7) und ggf. ein vorgeschalteter E-Kat (214) vorgesehen sind. Dem E-Kat vorgeschaltet ist eine Kraftstoffeindüsung (6), deren Steuerung über eine nach dem NO_x-Speicherkatalysator (7) angeordnete Lambdasonde (8) erfolgt. Nach der Zusammenführung (9) der beiden Abgasstränge (4, 5) ist ein Oxidationskatalysator (12) vorgesehen. Im Schubbetrieb und Leerlaufbetrieb der Dieselbrennkraftmaschine schließt die Klappe (203) den Abgasstrang (4) mit dem NO_x-Speicherkatalysator (7) von dem Abgasstrom (Pfeil), so daß nur noch eine Mindestdurchströmung des NO_x-Speicherkatalysators (7) stattfindet. Gleichzeitig wird durch Kraftstoffeindüsung in der Mindestdurchströmung ein $\lambda \leq 1$ erzeugt, so daß eine Regeneration des NO_x-Speicherkatalysators (7) stattfindet. Die Regeneration wird beendet, sobald die Lambdasonde (8) ein λ ...



DE 196 26 837 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer Dieselmotorkraftmaschine mit NOx-Speicher gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 und eine entsprechende Anordnung gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs

5 10.

Für Otto-Motoren sind NOx-Speicherkatalysatoren bekannt, die im mageren Betrieb die Stickoxide zunächst bis zur von der Katalysatorauslegung abhängigen Belastungsgrenze einlagern. Anschließend erfolgt ein kurzer stöchiometrischer oder leicht fetter Betrieb zur Regeneration des NOx-Speicherkatalysators, mit nachfolgend wieder magerer Betriebsweise. Der Rückhaltegrad dieser NOx-Speicherkatalysatoren ist sehr hoch, die gesamte NOx-Reduktion mit Speicherentladung und NOx-Umsetzung bei $\lambda \leq 1$ beträgt bei Mager-
10 Ottomotoren im Neuzustand > 90%. Prinzipiell sind solche NOx-Speicherkatalysatoren auch bei Dieselfahr-
zeugen einsetzbar, wobei eine gewisse größere Dimensionierung zur Kompensation der SOx-Einlagerungen vorteilhaft ist. Im Gegensatz zu Ottomotoren arbeiten Dieselmotoren jedoch stets mit Luftüberschuß, so daß während allen Betriebszuständen $\lambda > 1$ ist. Eine Beladung des NOx-Speicherkatalysators wäre somit zwar
15 problemlos möglich, eine Regeneration durch Anfeuchten des Abgases mittels beispielsweise Einspritzung von Kraftstoff in den Abgasstrang würde aber einerseits zu einem nicht tolerierbaren Verbrauchsanstieg und andererseits, wegen des hohen Sauerstoffgehalts der Dieselmotorgase, zu einer hohen Oxidationswärme führen, da vor der Umsetzung des gespeicherten NOx der eingedühte Kraftstoff oxidiert wird. Hierdurch besteht die Gefahr einer Zerstörung des Katalysators.

Aus der DE 43 42 062 A ist eine Abgasreinigungsvorrichtung für Dieselmotorkraftmaschinen bekannt, bei der der NOx-Speicher zum Regenerieren vom Abgasstrom abgesperrt wird. Dies geschieht regelmäßig dann, wenn der Speicher seine Kapazität erreicht hat. Um während des Regenerierens weiterhin keine NOx-Emissionen zu haben, wird der Abgasstrom über einen zweiten NOx-Speicher geführt. Alternativ wird der Abgasstrom gedros-
25 selt und ein komplizierter Regenerierungsalgorithmus eingeleitet. Hierbei ist die Funktionssicherheit problematisch. Außerdem bedingt die Verdoppelung des NOx-Speichers einen erheblichen Aufwand, wobei trotz des Aufwands nur bedingt eine gute Abgasreinigung erreicht wird.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Dieselmotorkraftmaschine mit einem einfachen NOx-Speichersystem auszurüsten, wobei gute Abgasreinigungswerte erzielt werden sollen. Aufgabe ist auch ein entsprechendes Verfahren.

Bei dem eingangs beschriebenen Verfahren wird diese Aufgabe gelöst mit den kennzeichnenden Maßnahmen der Ansprüche 1, 6 und/oder 8; bei der Dieselmotorkraftmaschine wird die Aufgabe gelöst mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 10.

NOx-Speicherkatalysatoren enthalten beispielsweise Oxide bzw. Carbonate der Alkali, Erdalkali und/oder Seltenerdmetallen, die bei Durchströmung mit einem mageren Abgas Stickoxide in Form von Nitrat oder Nitrit
35 einlagern und bei Durchströmung mit stöchiometrischem oder fettem Abgas diese wieder freisetzen, wobei in einer mit 3-Wege-Katalysatoren vergleichbaren Arbeitsweise bei der Reduktion der Stickoxide zu Stickstoff Kohlenwasserstoffe zu Wasser und Kohlendioxid oxidiert werden. Ein solcher üblicher NOx-Speicherkatalysator, wie er auch in der vorliegenden Erfindung zum Einsatz kommen kann, ist in der DE 43 42 062 A beschrieben.

In dem erfindungsgemäßen Verfahren zum Betrieb einer Dieselmotorkraftmaschine, bei dem der Abgasstrom der Dieselmotorkraftmaschine über einen NOx-Speicher geschickt wird, erfolgt die Regeneration vorteilhaft unter einem Teilabgasstrom oder unter völligem Ausschluß des Dieselmotorgasstroms, d. h. zumindest der überwiegende Anteil des Abgasstroms der Dieselmotorkraftmaschine wird bei der Regeneration des NOx-Speichers vor diesem abgezweigt.

Vorteilhaft werden maximal 25% der während der Regeneration von der Dieselmotorkraftmaschine ausgesto-
45 Benen Abgase und insbesondere werden maximal 10% des Abgasstroms bei der Regeneration durch den NOx-Speicher geleitet.

Erfindungsgemäß wird der NOx-Speicher — anders als im Stand der Technik — nicht erst dann regeneriert, wenn seine NOx-Speicherfähigkeit droht zu erschöpfen, sondern bereits gezielt bei bestimmten Betriebsbedin-
50 gungen der Dieselmotorkraftmaschine. Diese Betriebsbedingungen sind solche mit einem durchschnittlich geringen NOx-Gehalt im Abgasstrom, wobei insbesondere Schubphasen, aber auch Leerlaufphasen geeignet sind. Ebenso kann die Regeneration auch temperaturbestimmt sein, wobei hier zwei Kriterien eine Rolle spielen, nämlich zum einen abnehmende Abgastemperatur und zum anderen das Unterschreiten eines vorbestimmten Temperaturwertes. Der vorbestimmte Temperaturwert kann ein Erfahrungswert sein, wobei insbesondere Temperaturwerte $\leq 200^\circ\text{C}$ geeignet sind, er kann jedoch auch ein Wert sein, der sich nach der Speicherfähigkeit
55 des NOx-Speichers in Abhängigkeit der Temperatur bestimmt, wobei hier auf die abnehmende NOx-Speicherfähigkeit mit abnehmender Temperatur abgestellt wird. Vorzugsweise erfolgt das Regenerieren bei oder unterhalb einer Temperatur, bei der die NOx-Speicherfähigkeit auf $\leq 90\%$ und insbesondere $\leq 80\%$ der NOx-Speicherfähigkeit des NOx-Speichers bei 300°C abgesunken ist. Vorteilhafterweise liegt die Temperatur nicht unterhalb der Temperatur, bei der der NOx-Speicher noch mindestens 30% und insbesondere noch mindestens
60 40% seiner NOx-Speicherfähigkeit (bezogen auf 300°C) hat.

Bei einem Regenerieren unter diesen Betriebsbedingungen kann für den von dem NOx-Speicher gesperrten Abgasstrom auf eine NOx-Speicherung oder Drosselung in aller Regel verzichtet werden, da dieser Abgasstrom kaum NOx enthält. Ein Verzicht auf einen NOx-Speicher herkömmlicher Art kann hierbei sogar vorteilhaft sein, da der kalte Abgasstrom zu einer Abkühlung des NOx-Speichers führt, der hierdurch in seiner NOx-Speicherfähigkeit stark nachläßt. Aus diesem Grunde kann es auch vorteilhaft sein, wenn das Absperren andauert, bis
65 mindestens eine der oben beschriebenen Bedingungen für das Absperren nicht mehr vorliegt.

Neben den oben beschriebenen Auswahlkriterien für den Beginn der Regeneration kann — wie bisher üblich — auch ein Regenerieren erfolgen, wenn die oben genannten Kriterien nicht vorliegen, der NOx-Speicher

jedoch weitgehend oder vollständig erschöpft ist. Dies kann beispielsweise bei einer anhaltenden hohen Last der Dieselmotorkraftmaschine der Fall sein. Vorteilhaft fallen jedoch mindestens 50% und insbesondere mindestens 75% der Regenerierzeit beim durchschnittlichen Betrieb der Brennkraftmaschine unter die erfindungsgemäßen Kriterien.

Mit der vorliegenden Erfindung wird erreicht, daß die kalten Abgase des an sich betriebswarmen Motors, die einen nur sehr geringen NOx-Anteil enthalten, den NOx-Speicher nicht auskühlen, so daß dieser seine NOx-Speicherfähigkeit behält, um bei einem anschließenden Anstieg des NOx im Abgas eine hohe Wirksamkeit zu besitzen.

Zweckmäßigerweise wird zur Regeneration des NOx-Speichers vor diesen in die Abgasanlage Kraftstoff eingespritzt, der beim Durchströmen des NOx-Speichers wie oben beschrieben reagiert. Vorteilhaft wird hierbei der Abgasstrom so weit reduziert, daß er als Trägerstrom für den eingedüsten Kraftstoff ausreicht. Statt des Abgasstroms oder zusätzlich können auch Luft oder beispielsweise Brennerabgase als Trägerstrom für den eingedüsten Kraftstoff diesem und dem NOx-Speicher zugeführt werden. Statt der Kraftstoffeindüsung kann ein NOx-Reduktionsmittel auch auf andere Weise zugeführt werden, beispielsweise in Form von fetten Abgasen einer Brennvorrichtung, beispielsweise eines Brenners. Vorzugsweise wird jedoch die Kraftstoffeindüsung zur Regeneration eingesetzt, da diese verhältnismäßig wenig aufwendig und gut dosierbar ist.

In einer vorteilhaften Ausführungsform sitzt der NOx-Speicher in einem ersten Zweig der Abgasanlage und bei der Regeneration wird der zumindest überwiegende Teil des vorliegenden Abgasstroms über einen zweiten Zweig unter Umgehung des NOx-Speichers geführt. In einer weiteren günstigen Ausgestaltung können die beiden Abgaszweige wieder nach dem NOx-Speicher vereinigt werden, wobei vorteilhaft in dem wiedervereinigten Teil der Abgasanlage weitere Abgasbehandlungen hinsichtlich Geräusch und/oder Abgasentgiftung vorgenommen werden. Insbesondere lassen sich in diesem wiedervereinigten Teil ein Oxidationskatalysator und/oder ein Rußfilter unterbringen. In dem zweiten Zweig kann vorteilhaft ein zweiter NOx-Speicher untergebracht sein, der gleich dem ersten NOx-Speicher ausgebildet sein kann, vorzugsweise jedoch, insbesondere wenn die Regeneration des ersten NOx-Speichers bei geringem NOx-Gehalt im Abgasstrom je Zeiteinheit erfolgt, kann der zweite NOx-Speicher kleiner ausgeführt sein. Dieser zweite NOx-Speicher läßt sich analog dem ersten NOx-Speicher regenerieren, wenn durch den ersten NOx-Speicher überwiegende Teile (analog wie oben beschrieben) des Abgasstroms geführt werden. In einer weiteren Ausgestaltung kann in dem zweiten Zweig auch ein Oxidationskatalysator untergebracht sein, der dann aufgrund seiner Nähe zum Motor schneller anspricht als ein in dem zusammengeführten Teil der Abgasanlage untergebrachter Oxidationskatalysator. Da auch der NOx-Speicher im mageren Abgas eine Wirkung als Oxidationskatalysator hat, ist eine Oxidation von CO und HC während des NOx-Speicherns und der Regeneration des NOx-Speichers stets sichergestellt. Die Verwendung eines Oxidationskatalysators im zusammengeführten Teil der Abgasanlage bringt insbesondere bei der Regeneration und bei hoher Motorlast den Vorteil, daß zwei Oxidationskatalysatoren (NOx-Speicher und Oxidationskatalysator im zusammengeführten Teil) hintereinander geschaltet sind und somit eine besonders effektive CO- und HC-Reinigung stattfindet.

In einer weiteren vorteilhaften Ausbildungsform wird beim Eindüsen von Kraftstoff (oder Durchleiten von Abgasen mit hohem oxidierbarem Anteil) die Oxidationskatalysatorwirkung des NOx-Speichers ausgenutzt oder diesem ein Oxidationskatalysator vorgeschaltet, in dem in Gegenwart von Sauerstoff die oxidierbaren Bestandteile (Kraftstoff) unter Wärmeentwicklung oxidiert werden, um den NOx-Speicher aufzuheizen. Dies ist insbesondere bei wirkungsgradoptimierten Dieselmotoren und besonders bei Turboaufladung zweckmäßig, da hier hohe Abgasmassenströme bei geringen Temperaturen vorliegen. Bei solchen Dieselmotoren kann während Schwachlastphasen die für die NOx-Speicherung erforderliche Mindesttemperatur (üblicherweise mindestens 200°C) unterschritten werden. Ferner verstreicht auch beim Kaltstart (kalter Katalysator) stets eine gewisse Zeit bis zum Erreichen dieser Mindesttemperatur. Durch die beschriebene Maßnahme wird eine zusätzliche NOx-Speicherheizung zur Verfügung gestellt, die sowohl die Aufheizzeit verkürzt als auch bei zu geringen Abgastemperaturen beim Betrieb der Brennkraftmaschine hinreichende Katalysatortemperaturen gewährleistet. In einer weiteren Ausführungsform kann dies auch mit einem Brenner erreicht werden. Üblicherweise haben Brenner für Dieselmotorkraftstoff eine leicht magere Abstimmung, so daß zur Regeneration des NOx-Speichers eine zusätzliche Kraftstoffeindüsung erforderlich ist. Falls durch brennerseitige Maßnahmen auch ein Betrieb bei $\lambda < 1$ zumindest kurzzeitig möglich ist, kann diese Eindüsung entfallen.

In einer weiteren Ausgestaltung kann die NOx-Speicherbeheizung auch mit einem E-Kat (elektrisch beheizter Katalysator) erfolgen. Elektrisch beheizte Vorkatalysatoren sind bei Ottomotoren seit längerem bekannt und erprobt. Bei Dieselmotoren ist die Verwendung eines Vollstrom-E-Kats nicht sinnvoll, da zum einen der Abgasmassenstrom wesentlich höher ist als bei Ottomotoren und überdies vergleichsweise geringe CO- und HC-Rohemissionen zur katalytischen Verbrennung bereitstehen. Zur Erzielung der gleichen Wirksamkeit wie bei vergleichbaren Ottomotoren sind wegen der Auskühlung durch den hohen Abgasmassenstrom sowie als Folge der geringen katalytischen Umsetzung insbesondere bei aufgeladenen direkt einspritzenden Dieselmotoren E-Kat-Ströme von 300 bis 500 A bei 12 V erforderlich. Bei der vorliegenden Erfindung ist jedoch der Einsatz einer E-Kat-Beheizung des NOx-Speichers möglich. In diesem Fall kann der E-Kat einerseits bei der Regeneration des NOx-Speichers betrieben werden, d. h. dem E-Kat werden über einen geringen Teilstrom des Abgasstromes und/oder durch eine zusätzliche Lufteinblasung sauerstoffhaltige Gase zugeführt, die er mit zusätzlich eingedüstem Kraftstoff katalytisch unter Wärmeentwicklung umsetzt. Die Gesamtheizleistung sowie das eventuell vorliegende Luft-Abgasteilstrom-Verhältnis wird durch die Kraftstoffeindüsung bestimmt. Durch diese Maßnahme wird einerseits der Sauerstoffanteil bei der Regeneration gesenkt (die Regeneration ist nur bei einem geringen Sauerstoffanteil im Gasstrom durch den Katalysator möglich) und andererseits wird die zur Regeneration erforderliche Temperatur sichergestellt. Darüber hinaus kann der E-Kat auch beim Durchführen des überwiegenden Teils des Abgasmassenstroms durch den NOx-Speicher (NOx-Speicher wirkt als Speicher)

eingesetzt werden, hierbei ebenfalls mit Kraftstoffeindüsung, wobei bei dieser Verfahrensweise der E-Kat nur eine solche Temperatur erreichen muß, daß der eingedüste Kraftstoff oxidiert wird, wobei wiederum die entstehende Wärme zur Sicherung der notwendigen NO_x-Speicherungstemperatur dient. Die Stromaufnahme eines solchen E-Kats, insbesondere im Teilstrombetrieb, kann mit ca. 30—60 A angesetzt werden und stellt somit gegenüber Otto-E-Kats geringere Anforderungen an das Bordnetz und die Ansteuerung.

Die Heizsysteme bieten den Vorteil, daß neben der Beheizung des NO_x-Speichers auch das Aufheizverhalten eines nachgeschalteten Oxidationskatalysators verbessert wird. Vorteilhaft können beide Heizsysteme auch Wärme zur Regeneration möglicher Sulfateinlagerungen in dem NO_x-Speicher und zur Regeneration eines nachgeschalteten Partikelfilters (Rußfilter) zur Verfügung stellen. So kann beispielsweise durch den Brenner bzw. den E-Kat mit Kraftstoffeindüsung eine Temperatur von oberhalb 700°C im Gasstrom durch den NO_x-Speicher erreicht werden, wodurch Sulfateinlagerungen bei Lambden < 1 entfernt werden. Zweckmäßigerweise wird eine so hohe Temperatur nur bei Bedarf oder, falls der nur schwer feststellbar ist, nach einer festgelegten Zahl von NO_x-Speicherregenerationen (NO_x-Entfernung) durchgeführt werden. Hierdurch wird das System nicht zu stark belastet. Die Sulfatregeneration kann beispielsweise bei jeder zehnten, zwanzigsten oder auch fünfzigsten NO_x-Regeneration stattfinden.

Erfindungsgemäß erfolgt die Regeneration des NO_x-Speichers bei einem geringen NO_x-Gehalt im Abgasstrom je Zeiteinheit, d. h. insbesondere in Schubphasen und ggf. (je nach Dieselmotormaschine) auch/oder in Leerlaufphasen. Diese Phasen machen bei dem üblichen Betrieb eines Kraftfahrzeuges einen hohen Zeitanteil aus, wobei hier die NO_x-Emissionen nur bei etwa 10% liegen. Die nachfolgende Tabelle zeigt den Zeitanteil und die NO_x-Emissionen bei einem VW Golf III mit 66 kW Turbodiesel-Direkteinspritzermotor im MVEG-Zyklus.

	Zeitanteil (%)	Anteil NO _x -Emissionen (%)
Leerlauf	24,8	10,3
Schub	14,7	0,4
Beschleunigung	21	51
Konstantfahrt	39,5	38,2
Gesamt	100 (=1 180 sec.)	100 (= 6,418 g/Test)

Hieraus ist ersichtlich, daß wenn ausschließlich im Schubbetrieb der NO_x-Speicher regeneriert wird (ggf. auch mit gewissen Anteilen im Leerlaufbetrieb), praktisch keine NO_x-Emissionen bzw. zumindest eine Reduzierung der NO_x-Emissionen um etwa 90% erreichbar sind.

Die zu der Erfindung gehörende Dieselmotormaschine weist eine Abgasanlage auf, in der ein NO_x-Speicher angeordnet ist. In Strömungsrichtung vor dem NO_x-Speicher ist eine Abzweigung vorgesehen, durch die wahlweise zumindest ein Teil des Abgasstromes führbar ist. Der durch die Abzweigung geführte (Teil-)Strom strömt nicht durch den NO_x-Speicher. Weiterhin sind Mittel vorgesehen, die den Abgasstrom an der Abzweigung aufteilen. Diese Mittel enthalten eine Steuerung, die in Zusammenwirkung mit den Mitteln den Abgasstrom bei einer NO_x-Speicherung zumindest überwiegend, vorzugsweise zu mindestens 75% und insbesondere zu mindestens 90% über den NO_x-Speicher führt und zumindest zeitweilig bei der Regeneration des NO_x-Speichers den überwiegenden Anteil des Abgasstroms, vorteilhaft zu mindestens 75% und insbesondere mindestens 90% des Abgasstromes über die Abzweigung an dem NO_x-Speicher vorbeiführt. Die Kriterien für das Abzweigen des Abgasstromes sind hierbei die des oben beschriebenen Verfahrens.

Die Dieselmotormaschine enthält vorteilhaft weiterhin noch die oben beim Verfahren beschriebenen Elemente. Die Vorrichtung und das Verfahren finden vorzugsweise Einsatz in einem Kraftfahrzeug.

Die Erfindung wird im folgenden anhand von Ausführungsbeispielen und Zeichnungen näher beschrieben.

Es zeigen

Fig. 1 eine Abgasreinigung mit NO_x-Speicher und Oxidationskatalysator;

Fig. 2 die Abgasreinigung gemäß Fig. 1 mit einem Brenner;

Fig. 3 die Abgasreinigung gemäß Fig. 1 mit einem E-Kat;

Fig. 4 eine Abgasreinigung mit zwei NO_x-Speichern;

Fig. 5 die Abgasreinigung gemäß Fig. 4 mit einem Brenner;

Fig. 6 die Abgasreinigung gemäß Fig. 4 mit E-Kat; und

Fig. 7 ein NO_x-Abgastemperatur-Diagramm.

Bei der in Fig. 1 gezeigten Abgasanlage 1 werden die Abgase von einer (nicht dargestellten) Dieselmotormaschine (Selbstzünder) über einen Turbolader 2 zu einer Abgasweiche 3 geführt. Die Abgasweiche 3 weist zwei Klappen auf, die wechselseitig offen bzw. geschlossen sind. Hierdurch werden ein erster Zweig 4 oder ein zweiter Zweig 5 der Abgasanlage 1 für den Abgasstrom freigegeben. Dargestellt ist eine Freigabe des ersten Zweigs 4, in den in Strömungsrichtung gesehen (Pfeil) nach der Abgasweiche 3 eine Kraftstoffeindüsung 6 mündet. Weiter in Strömungsrichtung abwärts von der Kraftstoffeindüsung 6 ist ein NO_x-Speicherkatalysator in den ersten Zweig 4 eingesetzt, der in Strömungsrichtung für den Abgasstrom durchlässig ist und im wesentlichen

vom gesamten Abgasstrom, der durch den ersten Zweig 4 geführt wird, durchströmt wird. Weiter stromabwärts ist nach dem NOx-Speicherkatalysator 7 eine Lambda- und/oder Temperatursonde in den ersten Zweig 4 geführt. Stromabwärts von der Sonde 8 werden die beiden Zweige 4 und 5 wieder vereinigt 9 (auch hier könnte die Abgasweiche vorgesehen sein), so daß der gesamte Abgasstrom durch ein Endrohr 10 der Abgasanlage geführt wird. Nach dem Endrohr 10 können noch Schalldämpfer oder andere Teile von Abgasanlagen angeschlossen sein. 5

In dem zweiten Zweig 5 und/oder im Endrohr 10 können Oxidationskatalysatoren 11 und 12 vorgesehen sein.

Bei dieser Abgasanlage 1 wird über die zwei alternierend gekoppelten Klappen 3 jeweils nur ein Zweig der parallel laufenden Abgasstränge 4 und 5 freigegeben. Während Beschleunigungsvorgängen der Brennkraftmaschine und in Konstantfahrphasen ist der erste Zweig 4 geöffnet, so daß der Abgasstrom zunächst den NOx-Speicherkatalysator 7 durchströmt, in dem anfallende Stickoxide eingelagert werden. Über dies wirkt der NOx-Speicherkat in dem mageren Dieselabgas als Oxidationskatalysator, so daß gleichzeitig eine CO- und HC-Umsetzung stattfindet. Sofern diese nicht ausreichend ist, wird zusätzlich noch der Oxidationskatalysator 12 vorgesehen. In einer anschließenden Schub- und ggf. auch Leerlaufphase der Dieselmotorkraftmaschine wird die Abgasweiche 3 umgeschaltet, so daß der erste Zweig 4 geschlossen und der zweite Zweig 5 geöffnet ist. Sofern bei diesen Betriebsphasen zuviel CO und/oder HC im Abgas ist, kann hier in den zweiten Zweig 5 der Oxidationskatalysator 11 — insbesondere wenn kein Oxidationskatalysator 12 vorgesehen ist — eingesetzt werden. 10 15

Die Abgasweiche 3 schließt zumindest den zweiten Zweig 5 möglichst vollständig vom Abgasstrom ab wenn der erste Zweig 4 geöffnet ist, anders herum wird der erste Zweig 4 vorzugsweise nur weitgehend vom Abgasstrom abgeschlossen, so daß auch bei offenem zweiten Zweig 5 ein kleiner Teilstrom des Abgasstroms durch den ersten Zweig 4 strömt. Diese Grundströmung dient als Raumgeschwindigkeit (Mindestdurchströmung) um über die Kraftstoffeindüsung 6 eingedüsten Kraftstoff durch den NOx-Speicherkatalysator 7 zu befördern. Alternativ oder zusätzlich kann mit der Kraftstoffeindüsung auch eine Luftzufuhr erfolgen, die wiederum zum Erreichen der Mindestdurchströmung des NOx-Speicherkatalysators 7 dient. Der eingedüste Kraftstoff setzt sich in dem NOx-Speicherkatalysator 7 zum Teil unter Erwärmung desselben mit dem im Grundstrom noch vorhandenen Sauerstoff um, die verbleibenden Kraftstoffanteile (HC) reagieren mit dem eingelagerten NOx zu Stickstoff, Wasser und Kohlendioxid. Das Ende dieser NOx-Umsetzung (und entsprechender Kraftstoffzudüsung) wird mit der Sonde 8 erkannt, die als Lambdasonde ein $\lambda < 1$ und als Temperatursonde einen Temperaturabfall (die Reaktion ist exotherm) registriert. Vorteilhaft werden beide Sonden eingesetzt und abgefragt. Eventuell bei dieser Umsetzung nicht verbrauchte HC-Bestandteile vermischen sich wieder mit dem Hauptabgasstrom, der durch den zweiten Zweig 5 strömt, und werden mit dem hierin enthaltenen Sauerstoff in dem Oxidationskatalysator 12 zu Wasser und CO₂ umgesetzt. 20 25 30

Nach der Regeneration des NOx-Speichers 7 kann die Abgasweiche 3 wieder umgestellt werden, so daß der Abgasstrom durch den ersten Zweig 4 strömt, auch wenn die Dieselmotorkraftmaschine sich noch im Schubtrieb oder in einer Leerlaufphase befindet, so daß auch die hier gering anfallenden Stickoxide wieder gespeichert werden. Da der Regenerationsvorgang in ca. 0,2 bis 20 sec. beendet ist, insbesondere in 0,5 bis 10 sec., besteht in einem normalen Kraftfahrzeugbetrieb genügend Zeit zur Regeneration im Schubtrieb. Um auch bei lang anhaltenden Beschleunigungs- und Konstantfahrten eine weitgehende Beseitigung der Stickoxide sicherzustellen, kann eine Zeit- und/oder Dieselmotorkraftmaschine-Betriebszustand-Steuerung vorgesehen werden, die dazu führt, daß zusätzlich zu dem oben beschriebenen Verfahren Regenerationzyklen stattfinden (beispielsweise auch während Konstantfahrten und/oder Beschleunigungen). Da die Regenerationszeit wesentlich kürzer ist als die Beladungszeit des NOx-Speicherkatalysators 7, wird auch hier eine weitgehende Säuberung von den Stickoxiden erreicht. 35 40

Die in Fig. 2 dargestellte Abgasanlage 101 hat, wie auch an den Bezugszeichen zu erkennen ist, prinzipiell den gleichen Aufbau wie in Fig. 1 beschrieben. Zusätzlich ist hier ein Brenner 113 vorgesehen, dessen erhitzte Brennergase (Doppelpfeil) in Strömungsrichtung gesehen nach der Abgasweiche 3 in den ersten Zweig 4 eingeleitet werden. Mit dem Brenner kann einerseits bei einem Fahrzeugkaltstart der kalte NOx-Speicherkatalysator 7 und der eventuell vorhandene Oxidationskatalysator 12 schnell auf Betriebstemperatur gebracht werden, andererseits kann auch bei Schwachlastphasen der Dieselmotorkraftmaschine (hier kann die Abgastemperatur deutlich unter 200° liegen) die für die NOx-Speicherung erforderliche Mindesttemperatur sichergestellt werden. Für den letzteren Zweck ist nur eine sehr geringe Brennerleistung erforderlich. 45 50

Da beim Betrieb des Brenners 113 mit Dieselmotorkraftstoff eine leicht magerer Abstimmung üblich ist, ist zur Regeneration des NOx-Speicherkatalysators 7 eine zusätzliche Kraftstoffeindüsung 106 — wie oben beschrieben — erforderlich. Falls durch brennerseitige Maßnahmen auch ein zumindest kurzfristiger Betrieb bei $\lambda < 1$ möglich ist, kann diese Eindüsung entfallen. 55

Die in Fig. 3 dargestellte Abgasanlage 201 unterscheidet sich wiederum von der Abgasanlage 1 aus Fig. 1 nur geringfügig. Hier ist der Oxidationskatalysator 11 (der grundsätzlich optional ist) weggelassen und als Abgasweiche kommt eine Einklappenlösung 203 zum Einsatz. Außerdem ist vor dem NOx-Speicherkatalysator 7 ein E-Kat 214 (elektrisch geheizter Oxidationskatalysator) vorgesehen, der die Funktion des in Fig. 2 beschriebenen Brenners 113 übernimmt. Der E-Kat 214 kommt mit einer geringen Heizleistung (ca. 40 A bei 12 V) aus, da er im Betrieb nur die Temperatur erreichen muß, die notwendig ist damit zugeführter Kraftstoff oxidiert wird. Hierdurch tritt dann eine Selbsterwärmung ein, die mit dem Abgasstrom an die nachfolgenden Katalysatoren abgegeben wird. Bei dieser Ausführungsform sollte bei der Regeneration möglichst wenig Sauerstoff in der Grundströmung vorhanden sein, damit sich der E-Kat hier nicht überhitzt, grundsätzlich kann der E-Kat (die Stromversorgung) bei der Regeneration abgeschaltet sein. 60 65

Bei den oben und nachfolgend beschriebenen Heizsystemen (Brenner und E-Kat) für den NOx-Speicherkatalysator 7 werden üblicherweise so wenig Brennergase und oder Kraftstoff zugeführt, daß die resultierende

Temperatur im Abgas bei 250° bis 400°, insbesondere 300° bis 350° liegt.

In Fig. 4 ist eine Abgasanlage 301 dargestellt, die in beiden Zweigen 4 und 5 einen Speicherkatalysator 7 mit Kraftstoffeindüsung 6 und nachgeschalteter Sonde 8 aufweist; ein im Endrohr 10 nachgeschalteter Oxidationskatalysator (12) ist nicht dargestellt, kann aber vorgesehen werden. Auch hier ist der prinzipielle Ablauf wie in Fig. 1 beschrieben, mit dem Unterschied, daß bei einer gleichwertigen Auslegung der NOx-Katalysatoren 7 die Umschaltung der Abgasweiche 3 nicht durch die Fahrphasen, sondern allein durch Zeit und/oder dieselmotorenkraftmaschinenbetriebszustandsabhängig erfolgt. Hinsichtlich der Speicherkapazität kann einer der NOx-Speicherkatalysatoren 7 auch schwächer ausgelegt werden, unter Berücksichtigung dieser geringeren Kapazität kann dann ebenfalls wie oben beschrieben, aber auch nach der in Fig. 1 beschriebenen Regeneration in unterschiedlichen Betriebsphasen der Brennkraftmaschine verfahren werden, wobei der schwächer ausgelegte NOx-Speicherkatalysator vorteilhaft in den Schub- und/oder Leerlaufphasen der Dieselmotorenkraftmaschine die NOx-Speicherung übernimmt, während der stärker ausgelegte NOx-Speicherkatalysator regeneriert wird.

Auch eine solche Abgasanlage kann, wie in Fig. 5 mit 401 dargestellt, mit einem Brennersystem 413 ausgerüstet werden. Zur getrennten Versorgung der beiden Zweige 4 und 5 mit den erhitzten Brennergasen werden diese über ein Klappensystem 415 je nach Betriebszustand in den Zweigen 4 und 5 diesen getrennt zugeführt. Hierdurch kommt man mit einer Kraftstoffeindüsung 406 aus. Sofern der Brenner nicht nur zur Regeneration der NOx-Speicherkatalysator 7 eingesetzt wird (falls hierbei auch Sulfateinlagerungen entfernt werden sollen, muß die Regenerationstemperatur auf oberhalb 700°C angehoben werden), erfolgt die Steuerung der Verteilerklappen 415 entsprechend so, daß jeder Zweig die für ihn günstige Wärme und Kraftstoffmenge bekommt.

In Fig. 6 ist eine entsprechend Fig. 4 und 5 aufgebaute Abgasanlage 501 dargestellt, die statt mit einem Brennersystem mit E-Katalysatoren 414 ausgerüstet ist. Prinzipiell ist die Funktion hier wie in Fig. 5 beschrieben, wobei hier wiederum individuelle Kraftstoffeindünungen 6 vorgesehen sind. Auch wird hier nur eine Lambdasonde 8 eingesetzt, die die in Fig. 1 beschriebene Funktion erfüllt. Hier ist außerdem wiederum ein Oxidationskatalysator 12 in dem Endrohr 10 vorgesehen um insbesondere eine Oxidation von eventuell zuviel eingedüstem Kraftstoff sicherzustellen.

Aus Fig. 7 ist ersichtlich, daß ein deutlicher Zusammenhang zwischen der Abgastemperatur und dem NOx-Ausstoß der Dieselmotorenkraftmaschine besteht. Bei einem Absinken der Abgastemperatur auf $\leq 200^\circ\text{C}$ (dieser Wert kann je nach Dieselmotorenkraftmaschine etwas variieren, wobei bei kleinen Temperaturen immer der beschriebene Effekt vorliegt) ist der NOx-Ausstoß besonders gering (bei betriebswarmer Brennkraftmaschine), so daß hier eine weitere Befreiung der Abgase von den Stickoxiden bezüglich der Gesamtemission an Stickoxiden nahezu ohne Bedeutung ist ($\leq 10\%$). Entsprechen kann bei einem Absinken der Abgastemperatur unterhalb 200°C, bzw. auf Werte, bei denen eine nur geringe NOx-Emission gegeben ist, der NOx-Speicher vom Abgasstrom getrennt und regeneriert werden. Im normalen Fahrbetrieb liegen genügend solcher Phasen mit niedrigeren Abgastemperaturen vor, insbesondere bei Dieselmotorenkraftmaschinen mit einem hohen Wirkungsgrad, wie es bei Turbodieseldirekteinspritzern der Fall ist. Entsprechend eignet sich die vorliegende Erfindung insbesondere bei solchen Dieselmotorenaggregaten.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb einer Dieselmotorenkraftmaschine mit einem NOx-Speicher, der zur NOx-Speicherung von dem Abgasstrom durchströmt wird, und Regeneration des NOx-Speichers, bei der der NOx-Speicher bei laufendem Betrieb der Dieselmotorenkraftmaschine zumindest überwiegend von dem Abgasstrom abgesperrt wird, dadurch gekennzeichnet, daß das Absperrn gezielt bei einem durchschnittlich geringen NOx-Gehalt im Abgasstrom je Zeiteinheit und/oder in Schubphasen und/oder in Leerlaufphasen der Dieselmotorenkraftmaschine erfolgt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Absperrdauer zu mindestens 50%, insbesondere mindestens 75%, erfolgt, wenn ein durchschnittlich geringer NOx-Gehalt im Abgasstrom je Zeiteinheit und/oder eine Schubphase und/oder eine Leerlaufphase der Dieselmotorenkraftmaschine vorliegt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß zur Regeneration des NOx-Speichers ein Kraftstoff in diesen eingeleitet wird.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein Brenner zum Erwärmen des NOx-Speichers vorgesehen ist.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Absperrn erfolgt, wenn die Temperatur des Abgasstroms auf einen vorbestimmten Wert, insbesondere $\leq 200^\circ\text{C}$, sinkt.
6. Verfahren zum Betrieb einer Dieselmotorenkraftmaschine mit einem NOx-Speicher, der zur NOx-Speicherung von dem Abgasstrom durchströmt wird, und Regeneration des NOx-Speichers, bei der der NOx-Speicher bei laufendem Betrieb der Dieselmotorenkraftmaschine zumindest überwiegend von dem Abgasstrom abgesperrt wird, dadurch gekennzeichnet, daß das Absperrn gezielt erfolgt, wenn die Temperatur des Abgasstroms auf einen vorbestimmten Wert, insbesondere $\leq 200^\circ\text{C}$, sinkt.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Absperrn gezielt erfolgt, wenn die Temperatur des Abgasstroms auf einen so niedrigen Wert sinkt, daß die NOx-Speicherfähigkeit des NOx-Speichers temperaturbedingt auf $\leq 90\%$ der NOx-Speicherfähigkeit des NOx-Speichers bei 300°C abnimmt.
8. Verfahren zum Betrieb einer Dieselmotorenkraftmaschine mit einem NOx-Speicher, der zur NOx-Speicherung von dem Abgasstrom durchströmt wird, und Regeneration des NOx-Speichers, bei der der NOx-Speicher bei laufendem Betrieb der Dieselmotorenkraftmaschine zumindest überwiegend von dem Abgasstrom abgesperrt wird, dadurch gekennzeichnet, daß das Absperrn gezielt erfolgt, wenn die Temperatur des

Abgasstroms auf einen so niedrigen Wert sinkt, daß die NOx-Speicherfähigkeit des NOx-Speichers temperaturbedingt auf $\leq 90\%$ der NOx-Speicherfähigkeit des NOx-Speichers bei 300°C abnimmt.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Absperren andauert, bis die Schubphase oder die Leerlaufphase beendet ist und/oder bis die Abgastemperatur wieder einen Wert oberhalb des vorbestimmten Wertes, insbesondere $> 200^{\circ}\text{C}$, bzw. $> 90\%$ der NOx-Einspeicherkapazität, bezogen auf die NOx-Einspeicherkapazität bei 300°C , erreicht hat. 5

10. Dieseldieselmotormaschine mit einer Abgasanlage (1, 101 bis 501), in der ein regenerierbarer NOx-Speicher (7), eine in Strömungsrichtung (Pfeil) vor dem NOx-Speicher (7) angeordnete Abzweigung für den Abgasstrom und Mittel (3, 203) angeordnet sind, die zumindest während einer Regeneration während des Betriebs der Dieseldieselmotormaschine zumindest einen überwiegenden Anteil des Abgasstroms durch die Abzweigung schicken, so daß der überwiegende Anteil nicht durch den NOx-Speicher strömt, dadurch gekennzeichnet, daß eine Steuerung vorgesehen ist, die das Absperren vornimmt, wenn sie einen durchschnittlich geringen NOx-Gehalt im Abgasstrom je Zeiteinheit und/oder eine Schubphase und/oder eine Leerlaufphase und/oder eine auf einen vorbestimmten Wert, insbesondere $\leq 200^{\circ}\text{C}$, gesunkene Abgastemperatur der Dieseldieselmotormaschine erkennt. 10 15

11. Dieseldieselmotormaschine nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß vor dem NOx-Speicher eine Kraftstoffeindüsung vorgesehen ist.

12. Dieseldieselmotormaschine nach Anspruch 10 oder 11, gekennzeichnet, durch einen elektrisch beheizbaren Oxidationskatalysator, der vor dem NOx-Speicher und ggf. hinter der Kraftstoffeindüsung angeordnet ist. 20

Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen

25

30

35

40

45

50

55

60

65

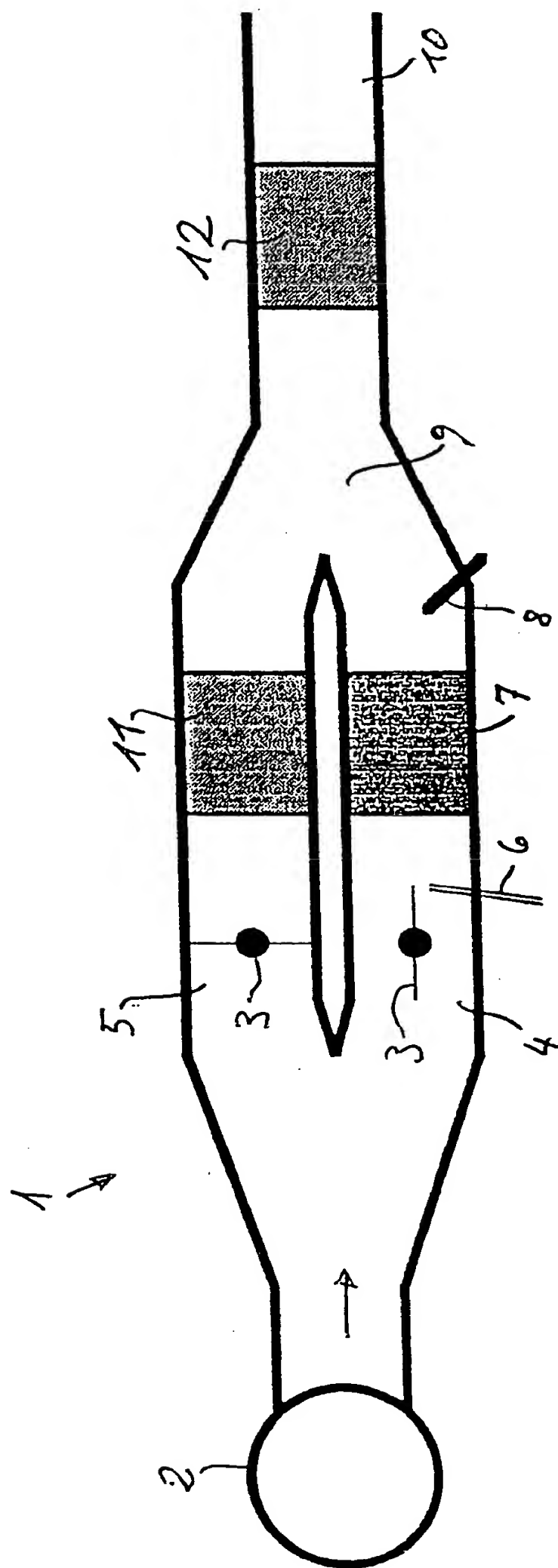


Fig. 1

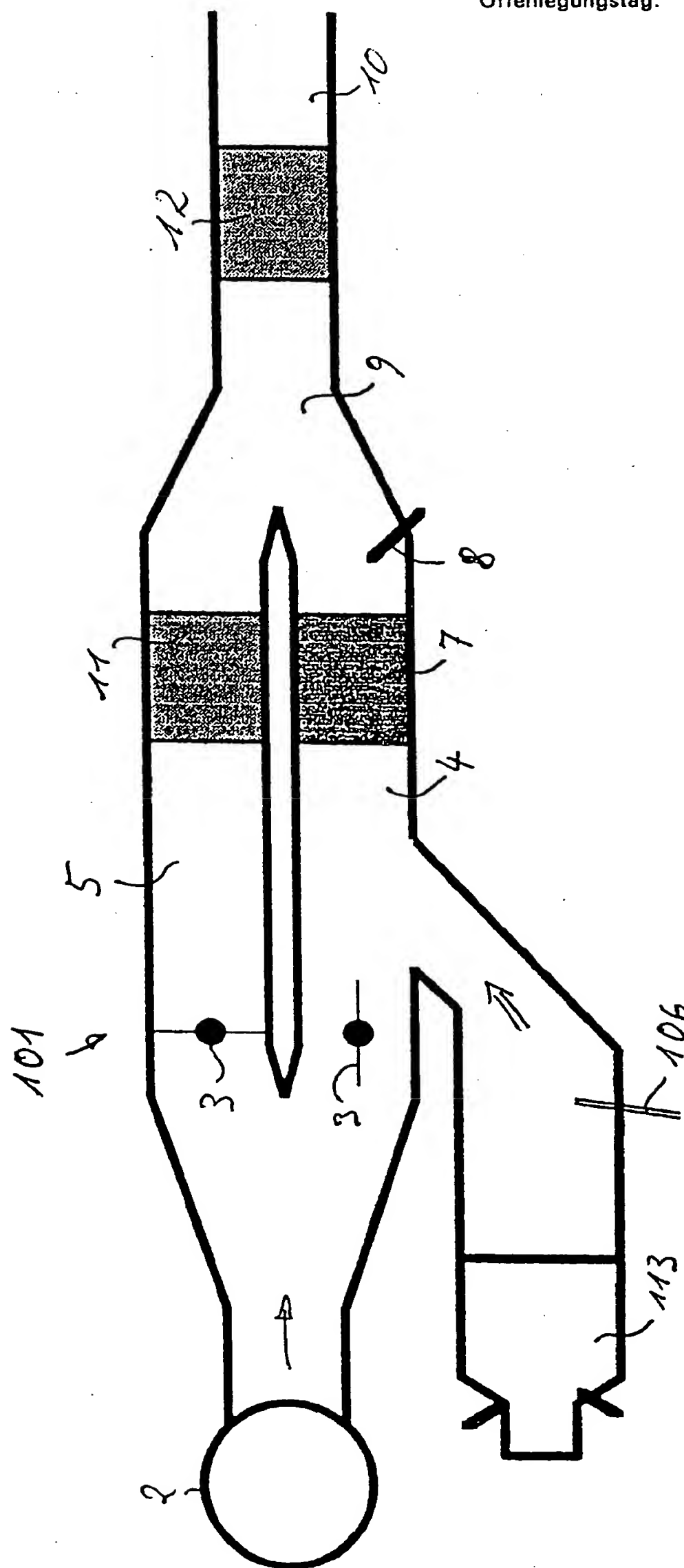


Fig. 2

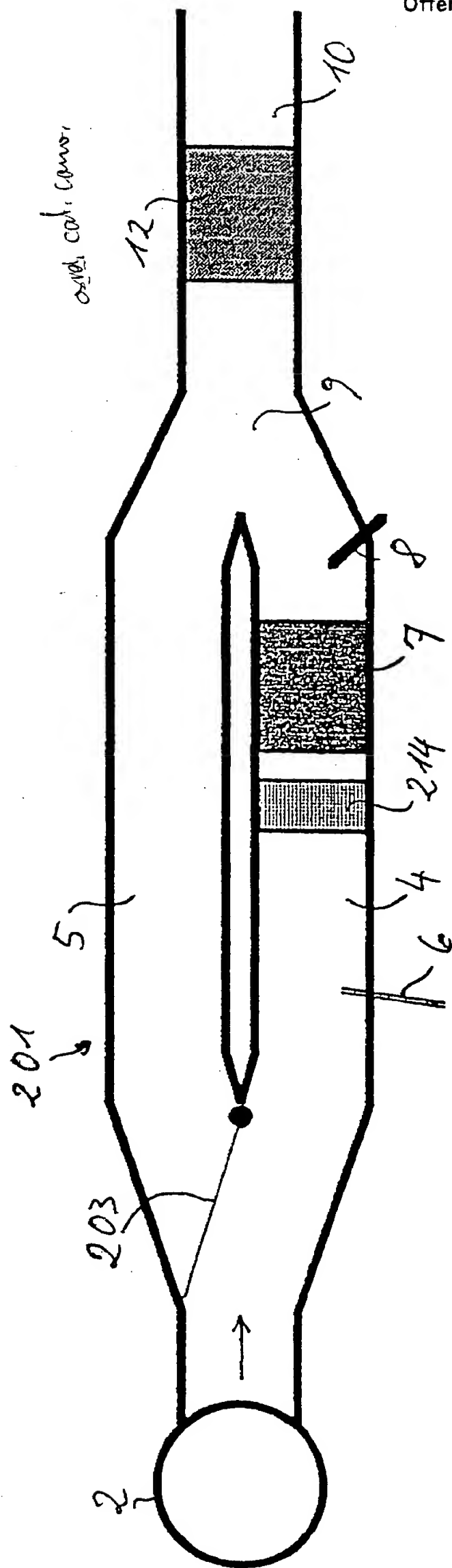


Fig. 3

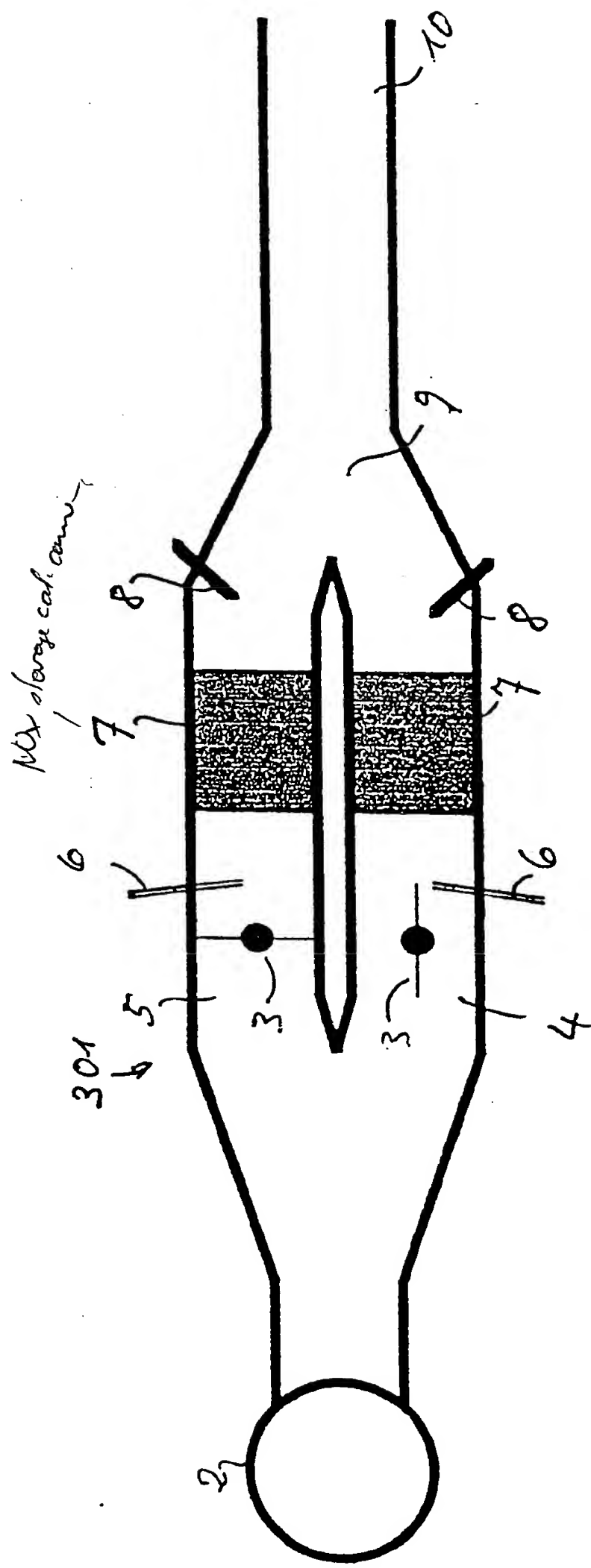


Fig. 4

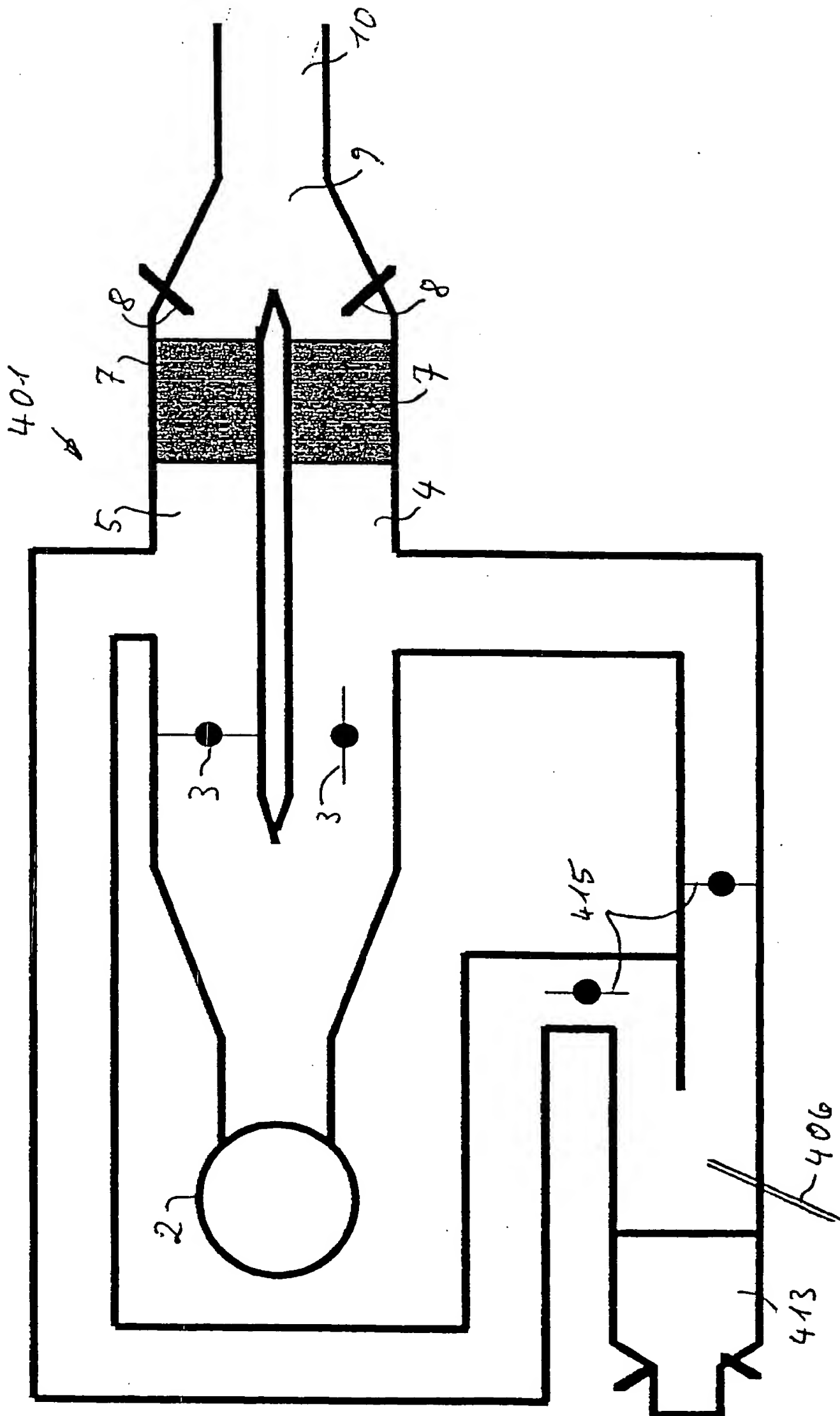


Fig-5

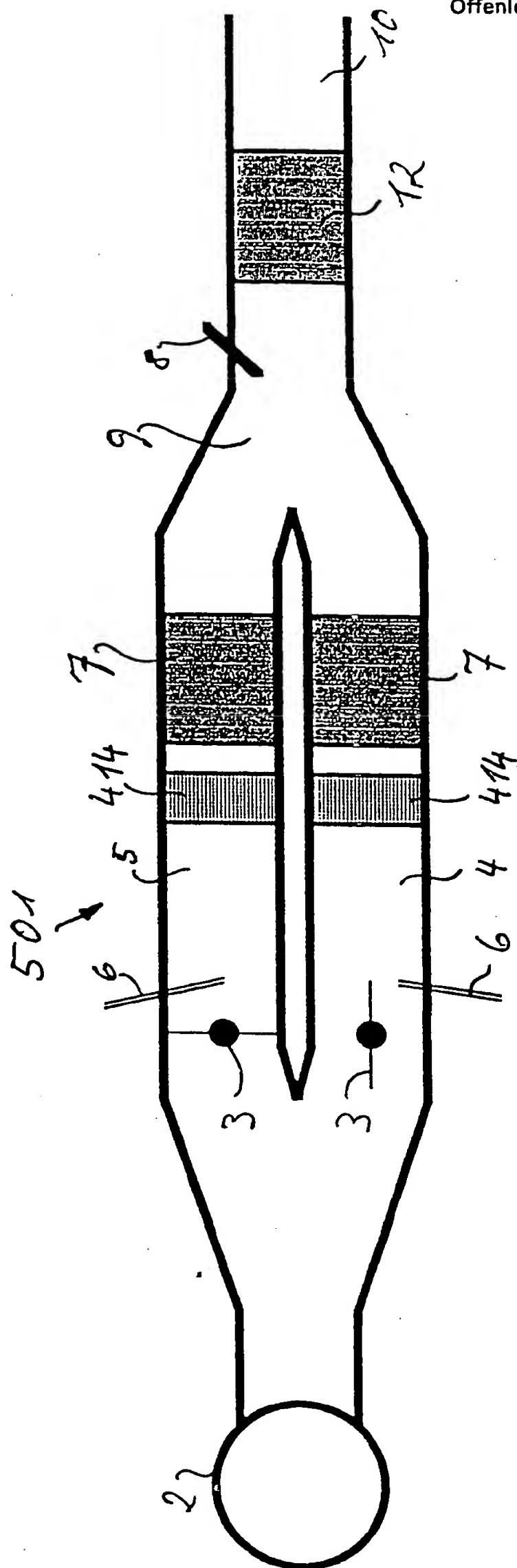


Fig. 6

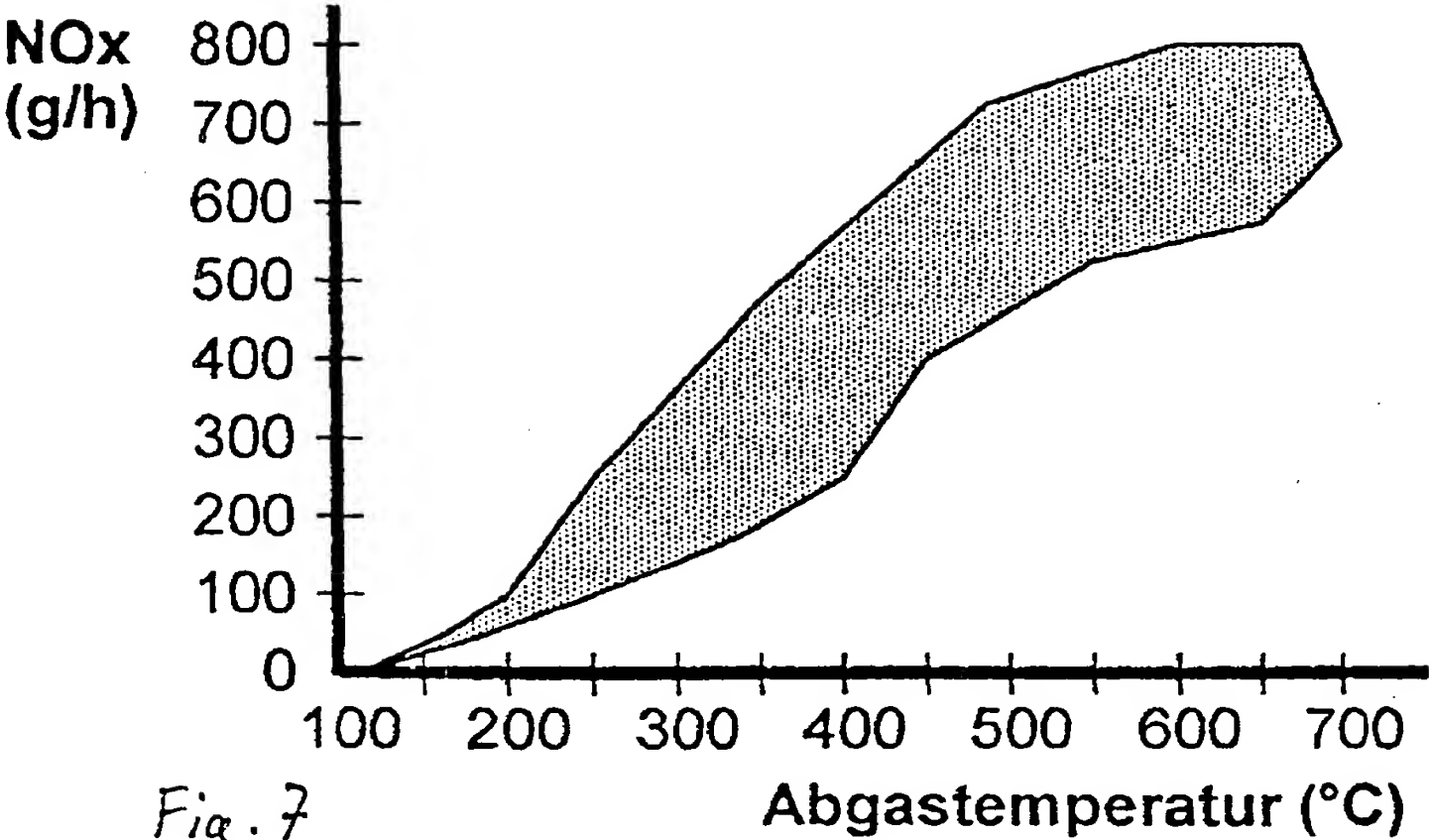


Fig. 7